

УДК 551.508.855

DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-1-28-40

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА БЛИЖНЕЙ АЭРОДРОМНОЙ ЗОНЫ

**К.И. ГАЛАЕВА<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия*

В статье представлены решаемые задачи, характерные особенности, тактико-технические характеристики, возможное размещение и область применения метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны. Произведен анализ результатов сравнения метеорологических радиолокационных данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны с достоверными источниками метеорологической информации, полученных в ходе предварительных, приёмочных, сертификационных испытаний. Описаны особенности проведения в ходе испытаний валидации метеорологических радиолокационных данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны, а именно: опасных метеорологических явлений (ливни разной интенсивности, грозы вероятности 30–70 %, 71–90 %, > 90 %, град разной степени интенсивности, шквал различной интенсивности), скорости и направления перемещения облачных образований, векторного поля скорости. Показаны примеры сопоставления данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны с данными из априорно достоверных источников информации в виде карт, графиков и таблиц. Показано, что результаты данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны получены в ходе испытаний и сертификации с охватом тёплого и холодного периодов года, объём выборки является статистически значимым (кроме выборки для оценки качества построения векторного поля скорости по самолётным и радиолокационным данным ввиду особенности пространственно-временного сопоставления данных двух указанных источников). Установлено, что метеорологический радиолокационный комплекс ближней аэродромной зоны обеспечивает приемлемое в соответствии с требованиями качество построения карт метеорологических явлений, векторного поля скорости и оценку вектора перемещения облачных образований. В статье проиллюстрированы результаты статистического анализа данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны, полученные автором статьи лично. Анализ метеорологических данных метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны осуществлён в целях дальнейшей эксплуатации метеорологического радиолокационного комплекса ближней зоны аэродрома.

**Ключевые слова:** метеорологический радиолокатор, ближняя зона аэродрома, опасные явления погоды, векторное поле скорости, вектор смещения облачных образований, испытания и сертификация, валидация метеорологических данных.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время метеорологические радиолокаторы являются источником данных о метеорологических явлениях и параметрах с высокой дискретностью во времени и пространстве. Повсеместное внедрение метеолокаторов в XX в. обеспечило дальнейшее развитие метеорологии в направлении изучения явлений погоды, а также предоставило возможность использования метеорологических радиолокационных данных в синоптической практике и в прогностических моделях погоды [1–6]. В свою очередь, наблюдение за гидрометеорологическими образованиями при помощи радиолокационного метода измерений напрямую повлияло на развитие мезометеорологии, изучающей мезомасштабные явления погоды, а именно: грозовые и градовые очаги, фронты порывов, шквалы, смерчи, бризы, конвективные ячейки, суперячейки [7–9]. Благодаря данным метеорологического радиолокатора стало возможным количественно интерпретировать обнаруживаемые осадки на больших площадях [10–12]. В настоящее время оперативно функционирует множество метеорологических радиолокационных систем с различными тактико-техническими характеристиками [13–15], однако существует потребность в создании малогабаритных метеорологических радиолокаторов, которые в том числе смогут работать в отдалённых

регионах Российской Федерации [16]. Малогабаритные метеорологические радиолокаторы могут устанавливаться между крупногабаритными – на базе оперативно работающих метеолокаторов Росгидромета [17]. При этом существует положительный опыт объединения метеорологических радиолокаторов с различными тактико-техническими характеристиками [18,19]

Организацией ОАО «Бортовые аэронавигационные системы» был разработан МРЛК БАЗ, предназначенный для создания радиолокационного метеорологического поля в ближней зоне аэродрома. Создание отечественного МРЛК БАЗ отвечает современным требованиям импортозамещения.

### НАЗНАЧЕНИЕ, ЗАДАЧИ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МРЛК БАЗ

МРЛК БАЗ обеспечивает предоставление метеорологической информации метеорологическим службам и подразделениям аэродромов различных видов авиации и другим потребителям радиолокационной метеорологической информации.

МРЛК БАЗ решает следующие задачи в соответствии с требованиями, изложенными в источнике<sup>1</sup>:

- 1) обнаружение и классификация метеорологических явлений при круговом и секторном обзорах пространства;
- 2) оценка координат и размеров обнаруженных метеообъектов и явлений;
- 3) обнаружение зон опасной турбулентности и сдвига ветра с приоритетом в секторах взлета и посадки воздушных судов;
- 4) оценка направления и скорости перемещения обнаруженных метеообъектов.

Характерными особенностями МРЛК БАЗ являются:

- предоставление метеорологических радиолокационных данных о ветровых характеристиках, а именно векторное поле скорости, сдвиги ветра (горизонтальный и вертикальный), удельная скорость диссипации турбулентной энергии;
- предоставление метеорологической информации для режимов «ОБЗОР» и «СЕКТОР», позволяющее повысить эффективность работы беспилотных летательных аппаратов и других воздушных судов [20, 21].

Основные тактико-технические характеристики МРЛК БАЗ представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Table 1

Основные тактико-технические характеристики МРЛК БАЗ  
The main tactical and technical characteristics of MRLK BAZ

Наименование характеристики	Значение
Мощность излучения в импульсе	100 Вт
Рабочая частота	9330-9375 МГц
Тип антенны	Щелевая антенная решётка с горизонтальной поляризацией
Ширина ДНА	3° 15' x 3° 15'
Метеорологический радиолокационный потенциал	не менее 250 дБ
Размеры	диаметр – 115 см; высота – 110 см
Масса	не более 75 кг

Таким образом, представленные в табл. 1 низкие массо-габаритные характеристики метеорологического радиолокационного комплекса позволяют устанавливать МРЛК БАЗ на базе

<sup>1</sup> Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации Российской Федерации (НМО ГА-95). М.: Росгидромет, 1995. 156 с.

грузопассажирского длиннбазового автомобиля с высокой крышей для осуществления временных наблюдений (рис. 1). Другое возможное размещение МРЛК БАЗ – на крышах административных и других зданий, специальных мачтах (вышках) – рис. 2. Для установки МРЛК БАЗ необходима ровная горизонтальная площадка размером не менее 750х750 мм, обеспечивающая надёжную установку МРЛС с помощью штатного крепёжного комплекта.



**Рис. 1.** Размещение МРЛК БАЗ на базе грузопассажирского длиннбазового автомобиля  
**Fig. 1.** The placement of MRLK BAZ on the basis of a cargo-passenger long-base vehicle



**Рис. 2.** Размещение МРЛК БАЗ на специальной мачте (вышке)  
**Fig. 2.** The placement of MRLK BAZ on a special mast (tower)

Областью применения МРЛК БАЗ являются аэродромы, посадочные площадки, площадки приземления, районы возможных чрезвычайных ситуаций.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И СЕРТИФИКАЦИИ МРЛК БАЗ

Для проверки приемлемой идентификации метеорологических явлений и корректного определения величин метеорологических характеристик и параметров на одном из этапов предварительных, приемочных, сертификационных испытаний метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны проводилась непосредственная валидация метеорологических радиолокационных данных МРЛК БАЗ с данными из априорно достоверных источников. За достоверные источники были приняты: наземные метеорологические станции, в том числе аэрологические (далее – МС), сертифицированные локаторы сети Росгидромет (далее – МРЛС), гронопеленгаторы, данные AMDAR.

Для определения порядка и правил валидации перед предварительными, приемочными и сертификационными испытаниями МРЛК БАЗ организацией ОАО «Бортовые аэронавигационные системы» были разработаны методики валидации данных метеорологических радиолокационных комплексов ближней зоны (далее – Методика) в соответствии с разделом 8.1 источника<sup>2</sup>, разделом 11 источника<sup>3</sup> и была согласована со структурами Росгидромета Российской Федерации.

В Методике представлены особенности валидации (или пространственные, временные и качественные правила сопоставления) следующей метеорологической информации:

- классифицированные метеорологические явления - опасные явления погоды (ливни; грозы вероятности 30-70%, 71-90%, >90%; град разной степени интенсивности, шквал различной интенсивности, торнадо (смерч));

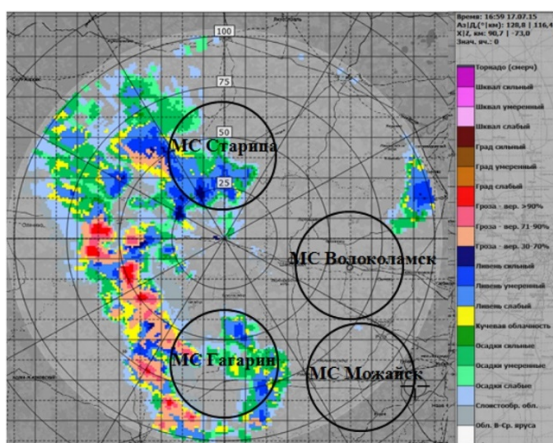
<sup>2</sup> Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. М., 2014. 110 с.

<sup>3</sup> Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. М., 2017. 121 с.

- скорость и направление перемещения метеорологических явлений;
- векторное поле скорости.

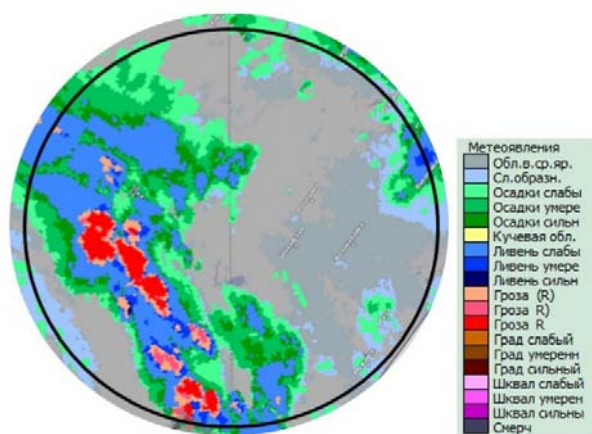
В качестве примера сопоставления данных о классифицируемых метеорологических явлениях из различных источников продемонстрированы карта метеоявлений в ячейках МРЛК БАЗ с 25-км окрестностями относительно МС – рис. 3 и объединённая карта метеоявлений в ячейках локаторов сети Росгидромет – рис. 4.

Согласно Методике грозы, наблюдаемые на МС, подтверждаются данными МРЛК БАЗ в случае их диагностирования в 25-км окрестности относительно МС (т.е. гроза разной степени вероятности является оправдавшейся по данным МРЛК БАЗ). Цветовые градации шкал метеорологических явлений соответствуют друг другу.



**Рис. 3.** Карта метеорологических явлений в ячейках МРЛК БАЗ 17.07.2015 г. 16:59 UTC. Пункт размещения – аэродром «Орловка». Чёрные окружности – 25-км радиусы относительно наземных метеостанций

**Fig. 3.** The map of meteorological phenomena in the cells of the MRLK BAZ 07/17/2015 16:59 UTC. The placement point – Orlovka airfield. Black circles – 25km radii relative to terrestrial weather stations



**Рис. 4.** Карта метеоявлений МРЛС 17.07.2015 г. 17:00 UTC. Чёрная окружность – масштаб дальности 100- км МРЛК БАЗ относительно аэродрома «Орловка»

**Fig. 4.** The map of meteorological phenomena of MRLC 07/17/2015 17:00 UTC. The black circle is the range scale of 100 km of MRLK BAZ relative to the Orlovka airfield

Согласно данным журнала КН-01 на МС Старица и Гагарин наблюдались грозы между синоптическими сроками (с 15:00 до 18:00 UTC). Таким образом, наблюдавшиеся по данным МС грозы подтвердились данными МРЛК БАЗ и данными МРЛС.

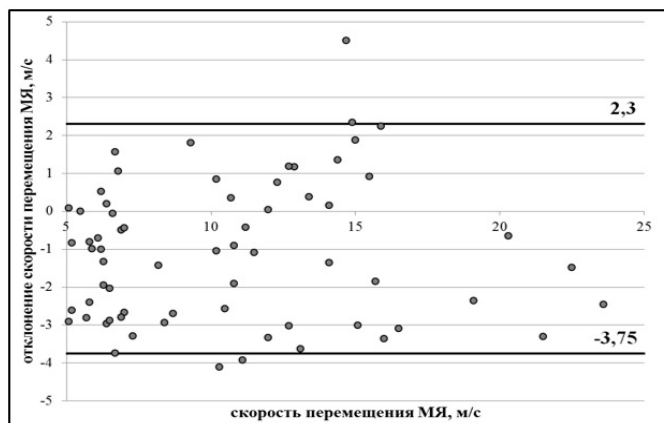
При анализе качества построения вектора перемещения метеоявлений по данным МРЛК БАЗ сопоставлялись полученные алгоритмически из радиальной скорости значения скорости и направления перемещения и рассчитанные значения скорости и направления перемещения метеоявлений по двум соседним кадрам по времени.

Полученные диаграммы статистики разности значений характеристик скорости перемещения метеоявлений представлены на рис. 5, 6 (скорость и направление перемещения метеоявлений соответственно).

Таким образом, значения среднего смещения оценок скорости и направления перемещения составило минус 0,75 м/с и минус 0,05° (составляют для скорости и направления около 10% значений оцениваемого параметра). Следовательно, оценки скорости и направления перемещения метеоявлений в МРЛК БАЗ по данным доплеровской радиальной скорости являются несмещёнными.

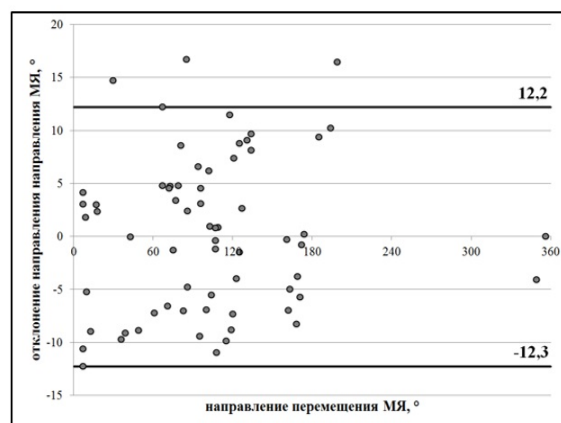
При анализе векторного поля скорости к сопоставлению привлекались МРЛК БАЗ, размещённого в г. Красногорск, и данные аэрологического зондирования (далее – АЭ) п. Долгопрудный, включающие в себя данные о ветровых характеристиках.





**Рис. 5.** Диаграмма выборки разностей оценок скорости перемещения метеоявлений в зависимости от их значения по данным карты метеоявлений

**Fig. 5.** The diagram of the differences sample that estimates the weather phenomena movement velocity depending on their value according to the map of weather phenomena

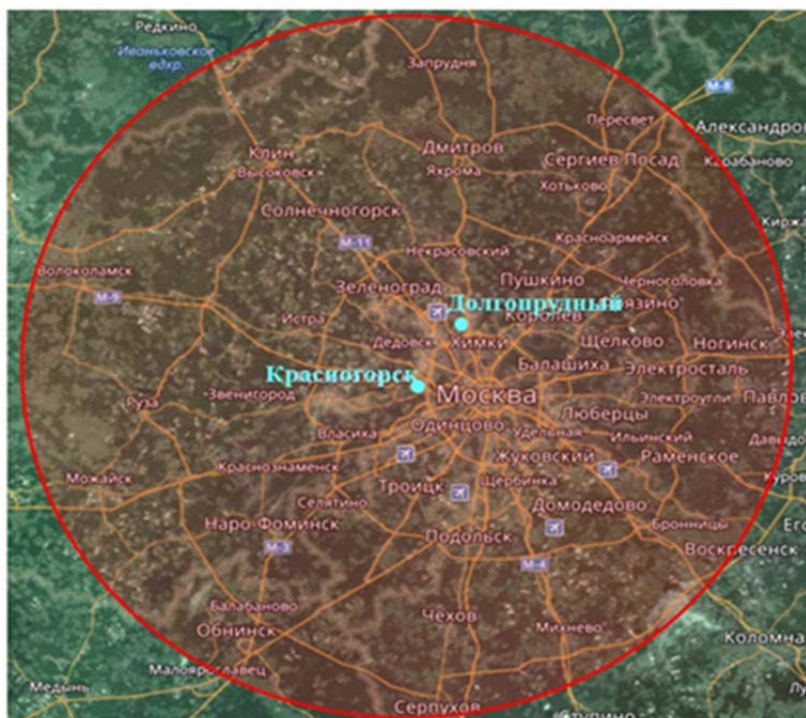


**Рис. 6.** Диаграмма выборки разностей оценок направления перемещения метеоявлений в зависимости от их значения по данным карты метеоявлений

**Fig. 6.** The diagram of the differences sample that estimates the weather phenomena movement direction depending on their value according to the map of weather phenomena

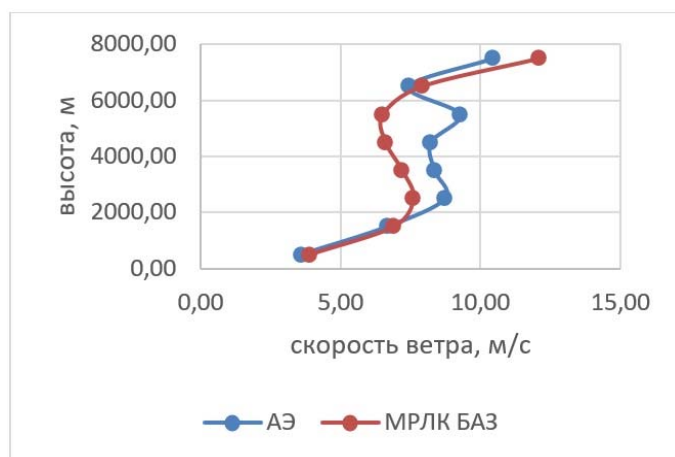
Местонахождение МРЛК БАЗ и аэрологической станции в г. Долгопрудный представлено на рис. 7.

На рис. 8–11 представлены примеры профилей скорости и направления ветра по данным аэрологического зондирования и МРЛК БАЗ (по оси ординат указана середина высотного слоя толщиной 1 км, например, значение 500 метров соответствует диапазону высот от 0 метров до 1000 метров).



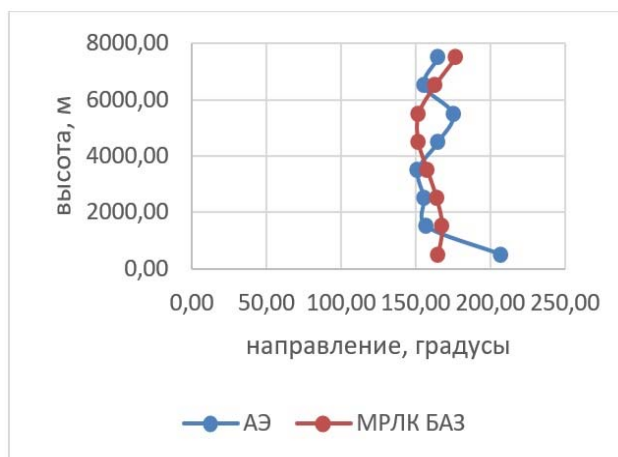
**Рис. 7.** Местонахождение МРЛК БАЗ «Красногорск» с 100-км радиусом действия (показано красным цветом) и аэрологической станции «Долгопрудный» (показано голубым цветом)

**Fig. 7.** The location of MRLK BAZ Krasnogorsk with a radius of 100 km (shown in red) and the Dolgoprudny aerological station (shown in blue)



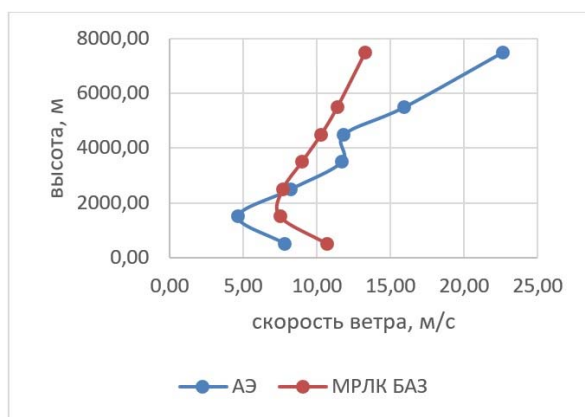
**Рис. 8.** Профили скорости ветра по данным аэрологического зондирования «Долгопрудный» и МРЛК БАЗ «ЦВКГ им. А.А. Вишневого» от 15.05.2018 г. 12:00 UTC

**Fig. 8.** The profiles of wind velocity according to the data of aerological sounding “Dolgoprudny” and MRLK BAZ “Vishnevsky TsVKG” 05/15/2018 12:00 UTC



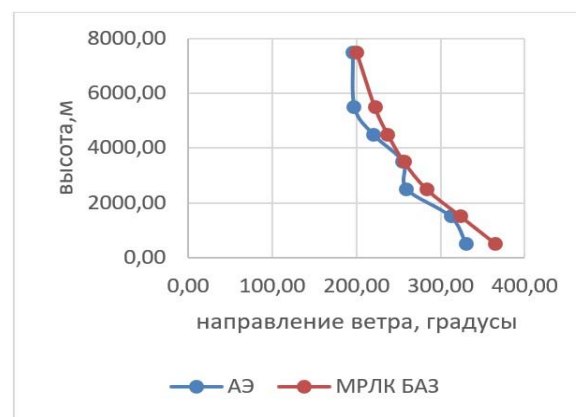
**Рис. 9.** Профили направления ветра по данным аэрологического зондирования «Долгопрудный» и МРЛК БАЗ «ЦВКГ им. А.А. Вишневого» от 15.05.2018 г. 12:00 UTC

**Fig. 9.** The profiles of wind direction according to the data of aerological sounding “Dolgoprudny” and MRLK BAZ “Vishnevsky TsVKG” 05/15/2018 12:00 UTC



**Рис. 10.** Профили скорости ветра по данным аэрологического зондирования «Долгопрудный» и МРЛК БАЗ «ЦВКГ им. А.А. Вишневого» от 16.09.2018 г. 12:00 UTC

**Fig. 10.** The profiles of wind velocity according to the data of aerological sounding “Dolgoprudny” and MRLK BAZ “Vishnevsky TsVKG” 09/16/2018 12:00 UTC



**Рис. 11.** Профили направления ветра по данным аэрологического зондирования «Долгопрудный» и МРЛК БАЗ «ЦВКГ им. А.А. Вишневого» от 16.09.2018 г. 12:00 UTC

**Fig. 11.** The profiles of wind direction according to the data of aerological sounding “Dolgoprudny” and MRLK BAZ “Vishnevsky TsVKG” 09/16/2018 12:00 UTC

Итак, анализ скорости и направления ветра по данным аэрологического зондирования и МРЛК БАЗ показал, что среднее значение разности скорости ветра составило  $-0.32$  м/с, стандартное отклонение  $4.70$  м/с, что удовлетворяет требованиям<sup>4</sup> (не превышает  $2.5$  м/с и  $5$  м/с соответственно); среднее значение разности направления ветра составило  $-1.34^\circ$ , стандартное отклонение  $35.77^\circ$ , что удовлетворяет требованиям (не превышает  $30^\circ$  и  $45^\circ$  соответственно).

<sup>4</sup> Авиационные правила. Часть 170. Сертификация оборудования аэродромов и воздушных трасс (АП-170). Том II. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. Изд. 3. М., 2013. 217 с.



**Рис. 12.** Местонахождение МРЛК БАЗ «Санкт-Петербург» с 100-км радиусом действия (показано чёрным пунктиром) и аэродрома Пулково (показано красным цветом)

**Fig. 12.** The location of the MRLK BAZ “St. Petersburg” with a radius of 100 km (shown with a black dotted line) and the airfield Pulkovo (shown in red)

В ходе валидации векторного поля скорости к сопоставлению также привлекались данные МРЛК БАЗ, размещённого в г. Санкт-Петербург и сводки AMDAR, включающие в себя данные о ветровых характеристиках в окрестностях аэродрома Пулково. Местонахождение МРЛК БАЗ и аэродрома Пулково представлено на рис. 12.

В ходе валидации был осуществлён расчёт разности значений скорости и направления ветра по данным AMDAR и МРЛК БАЗ, выборка составила 10 случаев, что говорит о её статистической незначимости в связи с особенностями пространственно-временного сопоставления данных двух источников информации – МРЛК БАЗ и AMDAR.

Как видим, среднее значение разности скорости ветра по данным МРЛК БАЗ и AMDAR составило 1.66 м/с, что удовлетворяет требованиям<sup>4</sup> – не превышает 3 м/с; среднее значение разности направления ветра составило 14.51°, что удовлетворяет требованиям<sup>4</sup> – не превышает 30°.

## АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ВАЛИДАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Для оценки эффективности работы МРЛК БАЗ был организован сбор статистических данных с охватом тёплого и холодного периодов года.

Количественная характеристика выборки, используемая в оценке эффективности работы МРЛК БАЗ, представлена в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Table 2**

Объём выборки, используемый в оценке эффективности работы МРЛК БАЗ  
The sample size used in performance assessment of the MRLK BAZ

№ п/п	Наименование	Число случаев
1	Общее количество принятых к рассмотрению случаев метеорологических явлений (от слабого ливня до умеренного града)	596
2	Выборка для оценки качества построения векторного поля скорости (АЭ и МРЛК БАЗ)	228
3	Выборка для оценки качества построения векторного поля скорости (AMDAR и МРЛК БАЗ)	10
4	Выборка для анализа качества оценки вектора перемещения облачных образований по радиальной скорости	66

Результаты обработки статистических данных для тёплого и холодного периодов года представлены в табл. 3.

**Таблица 3**  
**Table 3**

Результаты обработки статистических данных МРЛК БАЗ для тёплого  
и холодного периодов года  
The results of processing statistical data of the MRLK BAZ for the warm  
and cold periods of the year

№ п/п	Наименование	Значение
1	Оправдываемость обнаружения опасных явлений погоды (ливни, грозы, град):	86.07%
2	ливни	84.7%
3	грозы	88.6%
4	град	100%
5	Вероятность ложных тревог опасных явлений погоды (грозы, град)	0.01%
6	Среднее значение разности скорости ветра (АЭ-МРЛК БАЗ), м/с	-0.32
7	Среднее значение разности направления ветра (АЭ-МРЛК БАЗ), °	1.34
8	Среднее значение разности скорости ветра (АМДАР-МРЛК БАЗ), м/с	1.66
9	Среднее значение разности направления ветра (АМДАР-МРЛК БАЗ), °	14.51
10	Пределы ошибок в оценках скорости перемещения явлений по доплеровским данным	не более $\pm 3$ м/с
11	Среднее значение смещения оценок скорости перемещения облачных образований	0.75 м/с (оценка скорости не-смещённая)
12	Пределы ошибок в оценках направления перемещения явлений по доплеровским данным	не более $\pm 30^\circ$
13	Среднее значение смещения оценок направления перемещения облачных образований	-0.05° (оценка направления не-смещённая)

Таким образом, было установлено, что МРЛК БАЗ обеспечивает качество построения карт метеорологических явлений и векторного поля скорости, оценку направления и скорости перемещения не ниже оценки «удовлетворительно», выполняя требования<sup>4,5</sup>.

На основании проведённого статистического анализа, можно сделать статистически обоснованный вывод о приемлемом качестве работы малогабаритного метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны МРЛК БАЗ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в настоящее время создан, испытан и сертифицирован уникальный отечественный метеорологический радиолокационный комплекс ближней зоны аэродрома МРЛК БАЗ с низ-

<sup>5</sup> Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С на сети Росгидромета. СПб., 2013. 164 с.



кими массо-габаритными характеристиками. Комплекс в полной мере соответствует современным международным и отечественным требованиям, формирует всю номенклатуру метеорологического радиолокационного продукта в удобном для потребителя виде. Основным преимуществом комплекса является его высокая автономность, возможность применения на аэродромах государственной и гражданской авиации в стационарном, а также в мобильном варианте - на временных аэродромах, вертолетных площадках, в районах применения беспилотной авиации, авиации МЧС. Для метеообеспечения взлета и посадки летательных аппаратов впервые реализован специализированный режим «СЕКТОР», отличающийся формированием ветровых характеристик с повышенной точностью.

На основании проведенного статистического анализа можно сделать статистически обоснованный вывод о приемлемом качестве работы малогабаритного метеорологического радиолокационного комплекса ближней аэродромной зоны.

Оперативность, детальность и достоверность представляемой МРЛК БАЗ метеорологической информации выводит метеообеспечение на новый качественный уровень и существенно повысит безопасность полетов отечественной авиации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы: учеб. пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 127 с.
2. Гущина Д.Ю. Синоптическая метеорология. Атмосферные фронты: учеб. пособие. М.: МГУ, 2013. 103 с.
3. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии: учебник. СПб.: РГГМУ, 2009. 339 с.
4. Иванова А.Р. Опыт верификации численных прогнозов влажности и оценка их пригодности для прогноза зон обледенения воздушных судов // Метеорология и гидрология. 2009. № 6. С. 33–46.
5. Fabry F. Radar meteorology: principles and practice. Cambridge University Press, 2015. 256 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107707405>
6. Kumjian R.M. Weather Radars // Remote Sensing of Clouds and Precipitation. Springer International Publishing. February 2018. Pp. 15–63. DOI: 10.1007/978-3-319-72583-3\_2
7. Bruning E.C. Formation of charge structures in a supercell / E.C. Bruning, W.D. Rust, D.R. MacGorman, M.I. Biggerstaff, T.J. Schuur // Monthly Weather Review. 2010. Vol. 138, iss. 10. Pp. 3740–3761. DOI: 10.1175/2010MWR3160.1
8. Emersic C., Saunders C.P.R. Further laboratory investigations into the relative diffusional growth rate theory of thunderstorm electrification // Atmospheric Research. 2010. Vol. 98, iss. 2–4. Pp. 327–340. DOI:10.1016/j.atmosres.2010.07.011
9. Albrecht B., Fang M., Ghate V. Exploring stratocumulus cloud-top entrainment processes and parameterizations by using doppler cloud radar observations // Journal of the Atmospheric Sciences. 2016. Vol. 73, iss. 2. Pp. 729–742. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0147.1>
10. Koistinen J., Hohti H., Pohjola H. Diagnosis of precipitation detection range. AMS, 2005. 3 p. (Prepr. / 32nd International Conference on Radar Meteorology).
11. Nanding N., Rico-Ramirez M.A. Precipitation Measurement with Weather Radars. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, November 2019. Pp. 1–24. DOI: 10.1007/698\_2019\_404

**12. Boodoo S.** Quantitative precipitation estimation from a C-band dual-polarized radar for the 8 July 2013 flood in Toronto / S. Boodoo, D. Hudak, A. Ryzhkov, P. Zhang, N. Donaldson, D. Sills, J. Reid // *Journal of Hydrometeorology*. 2015. Vol. 16. Pp. 2027–2044.

**13. Ефремов В.С.** Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов [Электронный ресурс] / В.С. Ефремов, Б.М. Вовшин, И.С. Вылегжанин, В.В. Лаврукевич, Р.М. Седлецкий // *Журнал радиоэлектроники*. 2009. № 10. URL: <http://jre.cplire.ru/iso/oct09/6/text.html#1> (дата обращения: 29.10.2019).

**14. Battaglia A.** G band atmospheric radars: a new frontier in cloud physics / A. Battaglia, C.D. Westbrook, S. Kneifel, P. Kollias, N. Humpage, U. Löhnert, J. Tyynelä, G.W. Petty // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2014. Vol. 7, iss. 6. Pp. 1527–1546. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-7-1527-2014>

**15. Bechini R., Baldini L., Chandrasekar V.** Polarimetric radar observations of the ice region of precipitation clouds at C-band and X-band radar frequencies // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2013. Vol. 52. Pp. 1147–1169. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-055.1>

**16. Жуков В.Ю., Щукин Г.Г.** Состояние и перспективы сети метеорологических радиолокаторов [Электронный ресурс] // *Дистанционное зондирование атмосферы и земных покровов, радиометеорология*. РРВ-24. 2014. Т. 3. С. 133–136. URL: <http://rrv.iszf.irk.ru/sites/default/files/conf2014/articles/tom3/133-136.pdf> (Дата обращения 01.11.2019).

**17. Немудрый К.В.** Аэродромы и аэропорты как один из элементов системы региональной авиации России [Электронный ресурс] // *Труды МАИ*. 2008. Вып. 75. URL: <https://mai.ru/upload/iblock/3d8/3d861abaea6eacea2d677527b4fe34ca.pdf> (Дата обращения: 01.11.2019).

**18. Istok M., Crum T.** WSR-88D and TDWR-SPG data status and plans [Электронный ресурс] // *National Weather Service. Family Of Services. Partners Meeting*. Phoenix, AZ. 15 January 2009. URL: [https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/PublicDocs/Level\\_II/FOS\\_011509.pdf](https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/PublicDocs/Level_II/FOS_011509.pdf) (дата обращения: 16.11.2018).

**19. Germann U.** Triggering Innovation: The latest MeteoSwiss Alpine weather Radar Network, Rad4Alp / U. Germann, J. Figueras, M. Gabella, A. Hering, I. Sideris and B. Calpini // *Meteorological technology international*. April 2016. Pp. 62–65.

**20. Галаева К.И.** Обоснование требований к современным метеорологическим локаторам ближней зоны аэродрома // *Перспективные бортовые радиоэлектронные комплексы и системы: сборник трудов XIV Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвящённые памяти Н.Е. Жуковского»*. Москва, 13–14 апреля 2017. ОАО «Бортовые аэронавигационные системы». Москва, 2017. С. 45–48.

**21. Галаева К.И.** Обоснование задач, решаемых метеорологическим радиолокационным комплексом ближней аэродромной зоны / К.И. Галаева, Э.А. Болелов, И.Б. Губерман, А.А. Ещенко, С.В. Далецкий // *Научный вестник ГосНИИ ГА*. 2018. № 20 (331). С. 74–81.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Галаева Ксения Игоревна**, аспирантка кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, [ks.galaeva@mail.ru](mailto:ks.galaeva@mail.ru).

## RESULTS ANALYSIS OF THE TESTS AND CERTIFICATION OF NEAR-AIRFIELD METEOROLOGICAL RADAR COMPLEX

Ksenia I. Galaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

### ABSTRACT

The article presents the tasks, characteristic features, tactical and technical characteristics, the possible location and scope of the near-airfield meteorological radar complex. The analysis is made of the comparison of meteorological radar data from the near-airfield meteorological radar complex with reliable sources of meteorological information obtained during preliminary, acceptance, certification tests. The features of carrying out during the validation tests of meteorological radar data of the near-airfield meteorological radar complex are described, namely: dangerous meteorological phenomena (showers of different intensities, thunderstorms with a probability of 30-70%, 71-90%, > 90%, hail of varying degrees of intensity, squall of different intensities), velocity and direction of movement of cloud formations, vector velocity field. Examples of comparing the data of the near-airfield meteorological radar complex with data from a priori reliable sources of information are shown in the form of maps, graphs and tables. It is shown that the data of the near-airfield meteorological radar complex were obtained during testing and certification covering the warm and cold periods of the year, the sample size is statistically significant (except for the sample to assess the vector velocity field from data of aircraft and radar due to the spatial-temporal features comparing data from the two indicated information sources). It was established that the near-airfield meteorological radar complex provides acceptable in accordance with the requirements the construction quality of meteorological phenomena maps, the vector velocity field and the estimation of the cloud formations movement vector. The article illustrates the results of the statistical analysis of the data of the near-airfield meteorological radar complex, obtained personally by the author of the article. Analysis of meteorological data of the near-airfield meteorological radar complex was carried out with the aim of further exploitation of the near-airfield meteorological radar complex.

**Key words:** weather radar, near-airfield, dangerous weather phenomena, velocity vector field, cloud formations movement vector, tests and certification, meteorological data validation.

### REFERENCES

1. Veltishchev, N.F. and Stepanenko, V.M. (2007). *Mezometeorologicheskiye protsessy: uchebnoye posobie*. [Mesometeorological processes: Training manual]. Moscow: Geographical faculty of MSU Publ., 127 p. (in Russian)
2. Gushchina, D.Yu. (2013). *Sinopticheskaya meteorologiya. Atmosfernyye fronty: uchebnoye posobie*. [Synoptic meteorology. Atmospheric fronts: Training manual]. Moscow: Geographical faculty of MSU Publ., 103 p. (in Russian)
3. Bogatkin, O.G. (2009). *Osnovy aviatsionnoy meteorologii: uchebnik*. [Fundamentals of Aeronautical Meteorology: Textbook]. St.Petersburg: RGGMU, 339 p. (in Russian)
4. Ivanova, A.R. (2009). *An experience of the humidity forecasts verification and assessment of their applicability in forecasting of the aircraft icing zones*. Meteorology and hydrology, vol. 34, no. 6, pp. 354–363. DOI: 10.3103/S106837390906003X
5. Fabry, F. (2015). *Radar meteorology: principles and practice*. Cambridge University Press, 253 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107707405>
6. Kumjian, R.M. (2018). *Weather Radars. Remote Sensing of Clouds and Precipitation*. Springer International Publishing, pp. 15-63. DOI: 10.1007/978-3-319-72583-3\_2
7. Bruning, E.C., Rust, W.D., MacGorman, D.R., Biggerstaff, M.I. and Schuur, T.J. (2010). *Formation of charge structures in a supercell*. Monthly Weather Review, vol. 138, issue 10, pp. 3740–3761. DOI: 10.1175/2010MWR3160.1

8. **Emersic, C. and Saunders, C.P.R.** (2010). *Further laboratory investigations into the relative diffusional growth rate theory of thunderstorm electrification*. Atmospheric Research, vol. 98, issues 2-4, pp. 327–340. DOI:10.1016/j.atmosres.2010.07.011
9. **Albrecht, B., Fang, M. and Ghate, V.** (2016). *Exploring stratocumulus cloud-top entrainment processes and parameterizations by using doppler cloud radar observations*. Journal of the Atmospheric Sciences, vol. 73, issue 2, pp. 729–742. DOI: <http://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0147.1>
10. **Koistinen, J., Hohti, H. and Pohjola, H.** (2005). *Diagnosis of precipitation detection range*. Preprints, 32nd International Conference on Radar Meteorology. AMS, 3 pp.
11. **Nanding, N. and Rico-Ramirez, M.A.** (2019). *Precipitation Measurement with Weather Radars*. The Handbook of Environmental Chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1–24. DOI: 10.1007/698\_2019\_404
12. **Boodoo, S., Hudak, D., Ryzhkov, A., Zhang, P., Donaldson, N., Sills, D. and Reid, J.** (2015). *Quantitative precipitation estimation from a C-band dual-polarized radar for the 8 July 2013 flood in Toronto*. Journal of Hydrometeorology, no. 16, pp. 2027–2044.
13. **Efremov, V.S. Vovshin, B.M., Vylegzhanin, I.S., Lavrukevich, V.V. and Sedletskiy, R.M.** (2009). *C-band polarized Doppler meteorological radar with pulse compression*, Journal of Radio Electronics no. 10. Available at: <http://jre.cplire.ru/iso/oct09/6/text.html#1> (accessed 29.10.2019). (in Russian)
14. **Battaglia, A., Westbrook, C.D., Kneifel, S., Kollias, P., Humpage, N., Löhnert, U., Tyynelä, J. and Petty, G.W.** (2014). *G band atmospheric radars: a new frontier in cloud physics*. Atmospheric Measurement Techniques, vol. 7, issue 6, pp. 1527–1546. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-7-1527-2014>
15. **Bechini, R., Baldini, L. and Chandrasekar, V.** (2013). *Polarimetric radar observations of the ice region of precipitation clouds at C-band and X-band radar frequencies*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 52, pp. 1147–1169. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-055.1>
16. **Zhukov, V.Yu. and Shchukin, G.G.** (2014). *Status and prospects of weather radar network*. Remote sensing of atmosphere and Earth surface, radio meteorology, vol. 3, pp. 133–136. Available at: <http://rrv.iszf.irk.ru/sites/default/files/conf2014/articles/tom3/133-136.pdf> (accessed 01.11.2019). (in Russian)
17. **Nemudryy, K.V.** (2008). *Aerodromy i aeroporty kak odin iz elementov sistemy regionalnoy aviatsii Rossii* [Airfields and airports as one of the elements of the regional aviation system of the Russian Federation]. Trudy MAI [Proceedings of MAI], issue 75. Available at: <https://mai.ru/upload/iblock/3d8/3d861abaea6eacea2d677527b4fe34ca.pdf> (accessed 01.11.2019). (in Russian)
18. **Istok, M. and Crum, T.** (2009). *WSR-88D and TDWR-SPG data status and plan*. National Weather Service. Family of Services. Partners Meeting. Phoenix, AZ. Available at: [https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/PublicDocs/Level\\_II/FOS\\_011509.pdf](https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/PublicDocs/Level_II/FOS_011509.pdf) (accessed 16.11.2018).
19. **Germann, U., Figueras, J., Gabella, M., Hering, A., Sideris, I. and Calpini, B.** (2016). *Triggering Innovation: The latest MeteoSwiss Alpine weather Radar Network, Rad4Alp*. Meteorological technology international, pp. 62–65.
20. **Galayeva, K.I.** (2017) *Obosnovanie trebovanij k sovremennym meteorologicheskim lokatoram blizhnej zony aerodrome* [Justification of requirements for modern weather radar of the near-airfield] *Perspektivnye bortovye radioelektronnye komplekсы i sistemy: sbornik trudov XIV Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Nauchnye chteniya po aviacii, posvyashchyonnye pamyati N.E. Zhukovskogo»*. [Promising on-board radio electronic complexes and systems: Proceedings



of the XIV all-Russian scientific and technical conference “Scientific readings on aviation in memory of N.E. Zhukovsky”], pp. 45–48. (in Russian)

**21. Galayeva, K.I., Bolelov, E.A., Guberman, I.B., Eshchenko, A.A. and Daletskiy, S.V.** (2018). *Justification of tasks, solved by near-airfield meteorological radar complex*. Scientific bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation (*GosNII GA*), no. 20 (331), pp. 74–81.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Ksenia I. Galaeva**, Postgraduate Student of Technical Maintenance of Aircraft Radio-electronic Equipment Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, e-mail: ks.galaeva@mail.ru.

Поступила в редакцию 07.11.2019  
Принята в печать 23.01.2020

Received 07.11.2019  
Accepted for publication 23.01.2020